

УДК 550.834

## СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКОЛОСТВОЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА

Санфиоров И. А., Ярославцев А. Г., Бабкин А. И.  
(Горный институт Уральского отделения РАН  
г. Пермь, Россия)

*Представлено апаратурне і методичне забезпечення комплексних наземно-підземних сейсмічних і акустичних досліджень солей і надсоляних інтервалів до глибин в 140 метрів у приствольному просторі. За результатами цих досліджень визначено якнайменше водостійкі ділянки. Подальше буріння в цілому підтвердило сейсмоакустичні оцінки.*

*Apparatus and methodical ensuring for surface and subsurface seismic and acoustic investigations of the salt and upper salt intervals until depths in 140 m for near shaft massif were presented. Least water protective places were defined using results of these investigations. Next drilling confirmed seismic and acoustic estimations.*

При разработке месторождений твердых полезных ископаемых сохранность эксплуатационных горных выработок связана и с состоянием шахтных стволов. До попадания в продуктивный интервал геологического разреза ствол обычно пересекает несколько водоносных горизонтов. Основным методом борьбы с периодически появляющимися водопритоками из этих горизонтов является тампонаж, рассчитанный на укрепление 1.5-2 метровой зоны с внешней стороны тюбинговой крепи ствола. В некоторых случаях он оказывается малоэффективен, и тогда прибегают к созданию гидроизоляционных «завес» [1] на пути внешних водопритоков.

В описанных ситуациях возникает задача локализации путей водопритокков и оценки объема суммарной пустотности трещиноватых зон для определения мест закачки и оценки количества необходимого тампонажного материала. Это в свою очередь, требует расширенных обследований с привлечением современных дистанционных геофизических методов.

Для этих целей предлагается использовать сейсмоакустические методы разной масштабности и направленности. В первую очередь – малоглубинная наземная сейсморазведка вокруг надствольного здания. Регистрация отраженных и проходящих волн выполняется по методике многократных перекрытий по сети из продольных и непродольных профилей [2, 3]. По результатам наземных исследований определяются участки околоствольного пространства для более детальных шахтных сейсмоакустических наблюдений. Данные наблюдения выполняются также в рамках методики многократных перекрытий. Возбуждение и регистрация производятся в горизонтальной плоскости ближней зоны затюбингового пространства на определенных структурных уровнях стволовой выработки.

Предлагаемый комплекс исследований прошел неоднократное практическое опробование в пределах соляных рудников, действующих на территории крупнейшего в Европе Верхнекамского месторождения калийных солей [4, 5].

Успешность реализации сейсморазведочных исследований во многом определяется оптимальностью параметров системы наблюдений для исследуемого интервала глубин и предполагаемых размеров картируемых неоднородностей. При этом необходимо четкое соответствие аппаратного и программного обеспечения используемым интерференционным системам наблюдений.

Выполнение подобных требований возможно с применением компьютеризированных широкодиапазонных малогабаритных сейсмостанций, производимых фирмой «Interseis» (Латвия) [6], маломощного невзрывного источника ударного типа и современных пакетов программ цифровой обработки, разработанных для РС платформ [7].

Наземные наблюдения выполняются по сети профилей, параметры которой также определяются сейсмогеологическими особенностями площади исследований, включающей шахтный ствол. Профильные линии выходят за пределы предположительно нарушенной зоны массива, как минимум на длину расстановки. Расстояние между ними не превышает диаметра первой зоны Френеля для целевого интервала глубин геологического разреза. В случаях непродольного профилирования линии приема и возбуждения располагаются с разных сторон ствола.

Для изучения строения и свойств массива как в непосредственной близости от ствола, так и на удалении от него в основном используются суммарные временные разрезы общей глубинной точки (ОГТ), общего пункта возбуждения (ОПВ) и общего пункта приема (ОПП). Дополнительно привлекаются динамические и кинематические характеристики. В процессе обработки существенное внимание уделяется обратной и веерной фильтрациям как основным средствам борьбы с поверхностными и преломленными волнами.

При интерпретации такого набора данных, в первую очередь, выполняется стратиграфическая привязка выделенных на временных разрезах отражающих горизонтов (ОГ) (рис. 1 а). На следующем этапе проводится качественный анализ результатов, заключающийся в изучении рисунка суммарных сейсмозаписей и пространственно-временного распределения их динамической и кинематической составляющих. Комплексование продольных и непродольных наблюдений позволяет выполнять пространственные интерпретационные построения с объемной локализацией зон разуплотнения и трещиноватости в непосредственной близости от ствола. Кроме того, определяются: количественная оценка суммарной «пустотности» и рельеф водоупорных пластов. Участки наложения зон трещиноватости водонасыщенных интервалов разреза на отрицательные формы рельефа водоупорных пластов определяются, как наиболее вероятные зоны активного водопритока.

Количественные оценки представляются как по профилям, так и в виде площадных и пространственных схем. На рис. 1 приведен пример подобного представления.

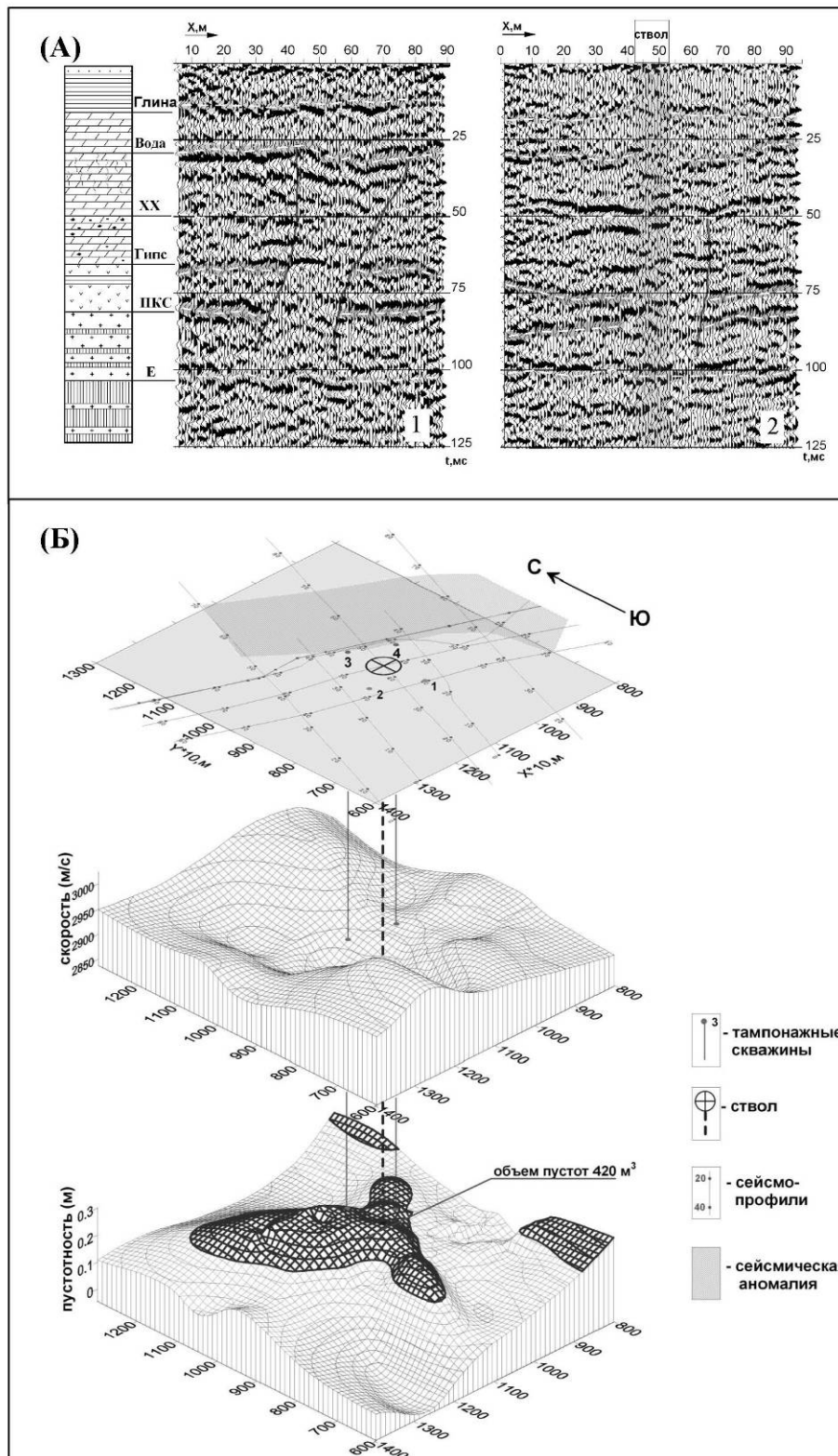


Рис. 1. Сейсморазведочные исследования околоствольного пространства: А - временные разрезы МОГТ, Б - результаты интерпретации

Количественная оценка возможного объема трещиноватости в пределах локализованных зон базируется на уравнении средней скорости:

$$V_{\text{нд}} = \frac{h_1 + h_2}{h_1/V_1 + h_2/V_2},$$

где  $h_1$  и  $h_2$ ,  $V_1$  и  $V_2$  - предполагаемые мощности и скорости упрощенной двухфазной модели среды, справедливой для конкретного значения  $V_{\text{ср}}$  ( $V_{\text{ср}} \approx V_{\text{и}}$ ).

Например, если принимается, что  $h_1$ -мощность не заполненных трещин, то  $V_1=330$  м/с, а  $V_2$  будет характеризовать скорость в плотном массиве конкретной литологической разности.

С этой целью рассчитываются площадные структурные и скоростные модели для всех выделенных на временных разрезах интервалов. На их основании и определяется объем массива со скоростью распространения упругих волн, принятой для ослабленных по механическим свойствам зон ( $V_1 \ll V_2$ ). В качестве примера подобного подхода (рис.1 б) представлено распределение значений интервальной скорости ( $V_{\text{и}}$ ) и суммарной трещиноватости ( $h_1$ ) в интервале Гипс-Пкс. Из их рассмотрения следует, что с северо-запада в юго-восточном направлении площадь исследований, включая ствол, пересекает низкоскоростная область. В пределах данной области сконцентрированы и волновые аномалии, подобные выделенной на представленном (рис. 1 а.) временном разрезе. По сейсморазведочным данным объем суммарной трещиноватости для данного интервала геологического разреза в пределах наиболее ослабленной его части оценивался в  $420 \text{ м}^3$ . Результаты последующего бурения и тампонажа массива в основном подтвердили подобный прогноз. При тампонаже удалось закачать в массив около  $300 \text{ м}^3$  бетона.

Сейсмоакустические исследования ближней затюбинговой зоны также имеют свои характерные особенности. Они основаны на изучении распространения высокочастотных (до 4 кГц) волн. Физическими предпосылками к возможности применения традиционных сейсморазведочных подходов в акустическом диапазоне частот служит известная физико-геологическая модель строения шахтного ствола. Т.е. его четкое деление по физическим свойствам

в горизонтальной плоскости – тьюбинг, цементное кольцо, породный массив. В методическом плане полевые акустические наблюдения должны обеспечивать вертикальную и горизонтальную разрешающую способность анализируемых данных, необходимую для детального изучения строения и свойств вышеупомянутых элементов ближней зоны околоствольного пространства.

Соответствующие требования предъявляются и к аппаратурно-программной части регистрирующего комплекса. При полевых наблюдениях используются стандартные геофоны и сейсмический регистратор с возможностью фиксации колебаний до 4 кГц, а также специализированный импульсный источник, основанный на пьезоэффекте. Программное обеспечение цифровой обработки сигналов аналогично наземным исследованиям. Граф цифровой обработки направлен на сохранение максимального частотного спектра окончательных суммарных волновых полей в различных модификациях. Этап интерпретации данных акустических исследований по стенкам шахтного ствола практически аналогичен традиционному сейсмопрофилированию.

На рис. 2. приведен пример акустических исследований, направленных на выявление зон повышенной циркуляции пластовых вод в околоствольном пространстве на разных ярусах стволовой крепи.

По результатам проведенных исследований на разных ярусах ствола можно сделать ряд выводов. Начиная с яруса 89 в центральной части, а затем со смещением во вторую половину (14 тьюбинг) профильных линий на удалениях 0,5-1,8 м и далее от поверхности наблюдений, выделяется низкоскоростная зона. В крайних частях она заходит и в интервал бетонного кольца. Совпадение положения данной зоны с контрастными осложнениями волнового поля позволяет предположить, что негативные изменения физических свойств в ее пределах связаны с нарушениями в структуре массива. По совокупности отмеченных признаков данную зону можно рассматривать, как потенциально проводящую, а наблюдаемые негативные изменения свойств бетонного кольца в ее пределах и в непосредственной близости от нее, подтверждают данное предположение.

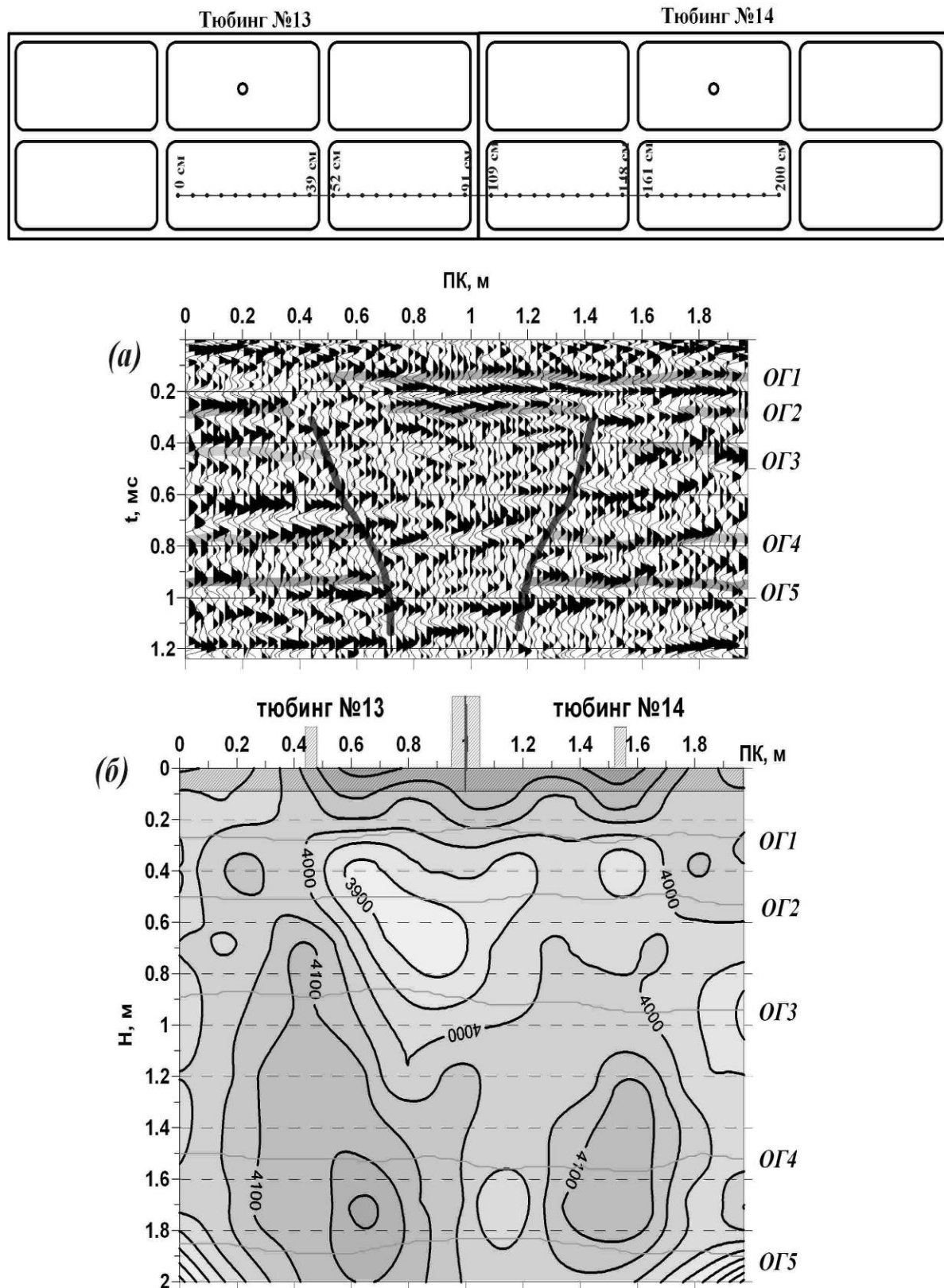


Рис. 2. Акустическое исследование затюбингового пространства: А – временной разрез МОГТ, Б – глубинный скоростной разрез

## СПИСОК ССЫЛОК

1. Савич А. И., Ященко З. Г., Горбунов А. А. Опыт оценки качества укрепительной цементации скальных пород сейсмоакустическими методами на Ингурской ГЭС // «Гидротехническое строительство», 1977, № 12.
2. Санфиров И. А., Бабкин А. И., Ярославцев А. Г., Прийма Г. Ю., Чугаев А. В. Применение малоглубинной сейсморазведки отраженными волнами для оценки состояния околоствольного массива // Разведка и охрана недр № 12. 2005. Современные достижения инженерной геофизики. Москва, Недра, 2005. С. 31-33.
3. I. Sanfirov, A. Yroslavcev, S. Kvitkin, V. Nezdanov. Shallow reflection seismic application for estimation of the salt massif common fracture // Proceedings of 9<sup>th</sup> meeting environmental and engineering geophysics. - Prague, 2004. P-021, 4P.
4. Джиноридзе Н. М. Петротектонические основы безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. / Спб.-Соликамск, 2000.
5. Кудряшов А. И. Верхнекамское месторождение солей. Пермь: ГИ УрО РАН. 2001.
6. Малоглубинная сейсморазведочная станция IS-48. Горный вестник, М., АГН, 1998, № 4.
7. Голярчук Н. А. Программный комплекс цифровой обработки сейсморазведочных данных SPS-PC. Норильск, 2003.